

## СВЯЗЬ ВАРИАЦИИ ПЛОЩАДИ ОСЕННЕГО СНЕЖНОГО ПОКРОВА С ТЕМПЕРАТУРНЫМ И ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ РЕЖИМАМИ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЗИМЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*Ю.В. Мартынова<sup>1),2)</sup>\*, Е.В. Харюткина<sup>1)</sup>, В.Н. Крупчатников<sup>1),2)</sup>,  
О.Ю. Антохина<sup>3)</sup>*

<sup>1)</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
Россия, 634055, г. Томск, Академический пр., 10/3; \**FoxyJ13@gmail.com*

<sup>2)</sup> Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт,  
Россия, 630099, г. Новосибирск, ул. Советская, 30

<sup>3)</sup> Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,  
Россия, 634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

**Резюме.** Цель работы – оценка влияния вариации снежного покрова на территории Западной Сибири в октябре на температурный и циркуляционный режимы указанной территории в последующий зимний сезон. Исследование проводилось с использованием нескольких массивов данных (данные наблюдений – ВНИИГМИ-МЦД, NOAA; реанализы – NCEP/NCAR и ERA-Interim; данные климатического моделирования – INMCM4 и INMCM5). Это позволило минимизировать вклад возможных ошибок исходных данных в итоговый результат. Для выявления влияния низкочастотной составляющей изменчивости рассматриваемых параметров на конечный результат были рассмотрены исходные ряды данных и ряды данных с исключенным трендом. Значимая отрицательная линейная связь площади снежного покрова в октябре с циркуляционным режимом, сформировавшимся в последующий зимний сезон, обнаружена лишь на коротких временах. При этом значимая связь с температурой воздуха на этих же временных интервалах не обнаружена для всех массивов данных, кроме данных наблюдений.

**Ключевые слова.** Западная Сибирь, осенний снежный покров, циркуляционный режим, приповерхностная температура, корреляция.

## RELATIONSHIP BETWEEN VARIATIONS IN AUTUMN SNOW COVER AND TEMPERATURE AND CIRCULATION REGIMES OF THE FOLLOWING WINTER IN WESTERN SIBERIA

*Yu. V. Martynova<sup>1),2)</sup>\*, E. V. Kharyutkina<sup>1)</sup>, V. N. Krupchatnikov<sup>1),2)</sup>,  
O. Yu. Antokhina<sup>3)</sup>*

<sup>1)</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,  
10/3, Akademicheskyy ave., 634055, Tomsk, Russia; \**FoxyJ13@gmail.com*

<sup>2)</sup> Siberian Regional Hydrometeorological Research Institute,  
30, Sovetskaya, 630099, Novosibirsk, Russia

<sup>3)</sup> V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS,  
1, Academician Zuev square, 634055, Tomsk, Russia;

**Summary.** In order to assess an influence of October snow cover in the Western Siberia on the temperature and circulation regimes of the following winter season

over this territory, relationships between these variables are analyzed using the correlation analysis. The study was carried out using several datasets (observations, RIIHI-WDC and NOAA; re-analyses, NCEP/NCAR and ERA-Interim; climate modeling data, INMCM4 and INMCM5). This allows to minimize a contribution of possible errors of the original data to the final result. The original data were also detrended for the estimation of the influence of low-frequency variability on the result. A statistically significant negative linear relationship between the area of snow cover in October and circulation regime of the following winter season is detected for the short time intervals only. The significant relationship with temperature is not found for the same time intervals for all data sets except observational data.

**Keywords.** Western Siberia, autumn snow cover, circulation regime, surface temperature, correlation.

## Введение

Характер влияния аномалий осеннего снежного покрова в средних и высоких широтах Северного полушария на атмосферные условия, формирующиеся в последующем зимнем сезоне, для этой территории уже много лет представляет значительный интерес для научного сообщества например, (Мартынова, Крупчатников, 2010; Allen et al., 2014; Cohen et al., 2007; Foster et al., 1983; Furtado et al., 2015; Peings et al., 2013; Sae-Rim et al., 2017). Обнаружено, что снежный покров оказывает значимое влияние на региональные атмосферные блокировки, которые в свою очередь, модулируют снежный покров на субконтинентальных масштабах (Антохина и др., 2018; García-Herrera et al., 2006). Знание характера и величины влияния таких возмущений на Арктическое колебание (АК) позволит повысить качество сезонных прогнозов метеорологических условий, а также качественно улучшить оценку рисков экстремальных явлений.

В 2007 году группа ученых во главе с Cohen J. сформулировала и представила возможный механизм влияния аномалий площади снежного покрова, сформировавшегося осенью, на атмосферные условия последующей зимой в Северном полушарии (Cohen et al., 2007), который заключается в следующем. Площадь снежного покрова рассматриваемой территории быстро увеличивается, превышая нормальное значение, вызывая неадиабатическое выхолаживание, способствующее увеличению давления у поверхности, что в свою очередь приводит к снижению температуры ниже нормы. В результате выхолаживания в тропосфере усиливаются вертикальные потоки волновой энергии, которые вследствие их поглощения в стратосфере приводят к разрушению полярного вихря и к формированию вторичной (аномальной) циркуляции. Возникшие аномалии геопотенциальных высот и ветров постепенно распространяются вниз из стратосферы в тропосферу вплоть до поверхности, где, в результате, у поверхности проявляется сильная отрицательная фаза АК, выраженная в увеличении приземной температуры воздуха. Кроме того, ослабление полярного вихря способствует увеличению темпера-

---

туры в стратосфере, ослаблению струйного течения и его сдвигу к югу, вследствие чего указанная вторичная циркуляция часто принимает форму блокинга. Таким образом, вариация осеннего снежного покрова может рассматриваться в качестве предиктора как для формирующихся в последующий зимний сезон аномальных атмосферных условий у поверхности, так и для внезапных стратосферных потеплений. Приведенный механизм является одним из возможных механизмов связи динамики атмосферы Арктики и средних широт. В силу климатических особенностей Евразии наиболее обширный снежный покров формируется в сибирской части Евразии.

По данным спутниковых наблюдений Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) основное формирование снежного покрова в Сибири происходит именно в октябре (Дымников др. 2003; Gong et al., 2003), что сопряжено со сменой сезонов и соответствующей перестройкой атмосферной циркуляции на этой территории. Более того, выявлено, что территория Сибири является т.н. «горячим пятном» (Allen et al., 2014), т. е. локальные изменения на данной территории могут вызвать глобальные климатические и экосистемные изменения. Все вышесказанное подтверждает важность исследований для данной территории.

На текущий момент механизм влияния аномалий осеннего снежного покрова на атмосферные условия последующей зимой в Северном полушарии до конца не изучен, однако, исследователи сходятся на том, что он является сложным и требует всестороннего изучения, например, (Peings et al., 2013; Sae-Rim et al., 2017).

Целью работы, результаты которой представлены в этой статье, была оценка влияния вариации снежного покрова, сформировавшегося в октябре на территории Сибири, на температурный и циркуляционный режимы указанной территории в последующий зимний сезон. Исследования проводились на основе данных наблюдений, ретроспективного анализа и численного моделирования. Одновременное использование в работе данных разных типов позволило получить более полное представление о поведении исследуемой связи. Необходимо отметить, что проведенное исследование не предполагает валидацию данных климатического моделирования по данным наблюдений. Степень связи рассматриваемых характеристик, оцениваемая с помощью корреляционного анализа, исследована для временных интервалов различной длительности.

## Методы и материалы

### *Территория*

В рамках данной работы внимание авторов было сосредоточено на территории Западной Сибири, границы которой для анализа задавались, как 50°-70° с.ш. и 60°-90° в.д.

### *Данные*

Анализ влияния вариаций осеннего снежного покрова на температурный режим последующего зимнего сезона для указанной территории осуществлялся с помощью данных наблюдений, реанализов и данных климатического

моделирования. Использование для исследования нескольких наборов данных различных типов объясняется тем, что ни один из существующих наборов данных не является идеальным: все данные потенциально содержат некоторое количество ошибок (погрешности измерений, моделирования, методов анализа). Однако, одновременное использование данных различных типов позволяет минимизировать вклад указанного рода ошибок в итоговый результат, и тем самым избежать формирования ложных выводов об исследуемой связи.

*Данные наблюдений.* Средние за зимний сезон данные наблюдений за температурой воздуха на 2 м были получены на основе свободно распространяемого архива ежесуточных данных наблюдений на метеорологических станциях за 1976–2014 гг. на рассматриваемой территории Западной Сибири (предоставляемого NOAA (<ftp://ftp.cdc.noaa.gov/pub/data/g sod/>). Данные по высоте и площади снежного покрова в октябре за указанный период были получены из архива ежедневных инструментальных наблюдений ВНИИГМИ-МЦД для метеорологических станций, расположенных на той же территории (<http://meteo.ru/it/178-aisori>) (Булыгина и др., 2014).

Данные станционных наблюдений представляют собой временные ряды, содержащие, помимо измеренных величин, пропуски. Эти ряды неравномерно распределены по изучаемой территории. Поэтому, чтобы получить оценку, характеризующую изменение на территории, проводилась следующая процедура (Ипполитов, 2008): 1) для каждой станции рассчитывались робастные оценки среднемесячных величин; 2) проводилась пространственная интерполяция полученных оценок на равномерную сетку и 3) по сетке находились робастные оценки, характеризующие исследуемую территорию. Для устранения влияния пространственной неоднородности месторасположения метеорологических станций проводилась пространственная интерполяция рассчитанных среднегодовых значений величин на сетку  $1^\circ \times 1^\circ$  по алгоритму крайгинга (Cressie, 1990).

Были также использованы данные NOAA о распространении снежного покрова в Северном полушарии с горизонтальным разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$ , полученные с помощью радиометра высокого разрешения (AVHRR), доступные для скачивания на официальном сайте Лаборатории по изучению снежного покрова (GSL) Ратгерского университета (Robinson et al., 2012) (<https://climate.rutgers.edu/snowcover/>). Рассматривались данные для периода 1978–2002 гг.

*Данные реанализов.* К исследованию были привлечены данные ретроспективных анализов NCEP/NCAR (горизонтальное разрешение  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ) и ERA-Interim (горизонтальное разрешение  $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ ). По данным NCEP/NCAR был рассмотрен период 1979–2002 гг, а по данным ERA-Interim — 1979–2015 гг.

*Данные моделирования.* В рамках данного исследования были использованы результаты численного моделирования, полученные с помощью глобальных климатических моделей INMCM4 и INMCM5 (Володин и др., 2010; Володин, 2014). Данные по модели INMCM4 были взяты с банка данных CMIP5 для периода 1976–2005 гг. из эксперимента piControl (<http://cmip-cmdi.llnl.gov/cmip5/>). Данные по модели INMCM5 были предоставлены

---

---

Е.В. Володиным. Период моделирования, рассматриваемый для модели INMCM5: 1979-2008 гг.

### Методика

В рамках данного исследования для всех типов данных анализ проводился для четырех интервалов времени: для всего имеющегося интервала, отдельно для первой и второй половины имеющегося интервала, а также для непрерывного подинтервала, располагающегося примерно в середине общего имеющегося интервала. Рассмотрение нескольких интервалов времени, выбранных указанным образом, позволяет оценить наличие зависимости получаемого результата от выбора периода для проведения исследования.

Было совместно рассмотрено поведение трех параметров: площадь снежного покрова, сформировавшегося в октябре; осредненная по территории средняя за зимний сезон температура воздуха у поверхности; средний за зимний сезон индекс АК.

В качестве оценки площади снежного покрова рассматривался процент рассматриваемой территории, покрытой снегом к концу октября. Вычисление индекса АК осуществлялось с помощью методики, применяемой NOAA: с помощью разложения по эмпирическим ортогональным функциям (ЭОФ) поля высоты геопотенциала Северного полушария 20°-90° с.ш. на 1000 гПа ([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily\\_ao\\_index/history/method.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/history/method.shtml)). Индексы АК, рассчитанные авторами по данным NCEP/NCAR в рамках данного исследования, полностью совпадают с индексами АК, публикуемыми на официальном сайте NOAA ([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/Cwlink/daily\\_ao\\_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/Cwlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii)), что подтверждает правильность программной реализации методики.

В связи с тем, что значения индекса АК, публикуемые NOAA, принимаются, де-факто, в качестве наблюдаемого индекса АК, именно эти значения были использованы в той части анализа, которая проводилась авторами на основе данных наблюдений.

Для всех использованных данных были рассмотрены отдельно исходные ряды (ИР) и эти же ряды после процедуры исключения тренда (ИТР), что позволило оценить степень влияния низкочастотной составляющей изменчивости рассматриваемых параметров. Анализ наличия линейной связи между поведением площади снежного покрова, сформировавшегося в октябре и температурным, а также циркуляционным режимом рассматриваемой территории осуществлялся с помощью корреляционного анализа. Расчет коэффициентов корреляции с последующей оценкой их значимости осуществлялся для трех пар параметров: 1) площадью снежного покрова в октябре и средним за последующий зимний сезон индексом АК; 2) площадью снежного покрова в октябре и осредненной по территории Сибири средней за последующий зимний сезон температурой воздуха у поверхности; 3) индексом АК и осредненной по территории Сибири температурой воздуха у поверхности средним за зимний сезон. Первые два из указанных индексов корреляции позволяют судить о наличии

---

линейной связи между рассматриваемыми параметрами, а последний, основываясь на том, что температура воздуха у поверхности в зимний сезон в существенной степени может определяться АК, выступает в качестве контрольной оценки взаимного поведения указанных параметров.

## Результаты

Полученные коэффициенты корреляции между площадью снежного покрова, сформировавшегося в октябре на территории Западной Сибири, с одной стороны, и средними за последующий зимний сезон индексами АК и осредненной по Западной Сибири температурой воздуха у поверхности, с другой стороны, демонстрируют существенный разброс значений как при переходе от одного набора данных к другому, так и в рамках каждого отдельно взятого набора (табл. 1). Однако, не смотря на разнообразие полученных значений, явно выделяются несколько особенностей.

Во-первых, общим для всех рассмотренных наборов данных является проявление статистически значимой линейной связи между площадью снега в октябре и индексом АК последующей зимой только на отдельных коротких (до 20 лет) интервалах времени. Исключение составляет только коэффициент корреляции, полученный по данным наблюдений по ИТР для длительного периода 1976-2013, длина которого составляет 38 лет. Однако, необходимо заметить, что величина этого коэффициента находится на границе статистической значимости: критическое значение для выборки из 38 элементов для уровня значимости  $\alpha=0.1$  составляет 0.271, что равно модулю полученного коэффициента корреляции.

Во-вторых, все значимые коэффициенты корреляции между величиной площади снежного покрова в октябре и индексом АК последующей зимой отрицательные. Здесь из общей массы полученных отрицательных значимых значений выбивается коэффициент корреляции, полученный по данным реанализа ERA-Interim по ИТР для периода длительностью 12 лет (1995-2006). Однако, величина этого коэффициента корреляции, как и в предыдущем исключении, находится на границе значимости: критическое значение для выборки из 12 элементов для уровня значимости  $\alpha=0.1$  составляет 0.491, что равно рассчитанному значению. В целом, полученный отрицательный знак значимых коэффициентов корреляций согласуется с описанным выше возможным тропосферно-стратосферно-тропосферным механизмом влияния площади осеннего снежного покрова на атмосферные условия в последующую зиму, согласно которому, в конечном счете, аномально большая площадь снежного покрова, сформировавшегося в октябре, провоцирует проявление отрицательной фазы АК у поверхности.

В-третьих, наличие статистически значимой линейной связи между индексом АК зимой и величиной площади снежного покрова в предшествующем октябре не сопряжено с проявлением значимой линейной связи между указанной площадью снежного покрова и осредненной по территории средней за последующий зимний сезон температурой воздуха у поверхности. Однако,

---

для подавляющего большинства временных периодов для всех рассмотренных наборов данных прослеживается сильная положительная статистически значимая линейная связь между средними за зимний сезон индексом АК и температурой воздуха у поверхности. Такое сочетание наличия и отсутствия статистически значимых линейных связей между тремя парами рассматриваемых параметров говорит в пользу проявления в эти отдельные периоды предложенного Cohen J. тропосферно-стратосферно-тропосферного механизма (Cohen et al., 2007), описанного ранее.

**Таблица 1.** Коэффициенты корреляции по ИР и ИТР (в ячейке таблицы «ИР / ИТР») между площадью снежного покрова Западной Сибири в октябре, средними за последующий зимний сезон индексом АК и осредненной по территории температурой воздуха у поверхности

Период (кол-во лет)	$S_{\text{СП}}$ vs. АК Ориг. / Детренд.	$S_{\text{СП}}$ vs. $T_{\text{ВП}}$ Ориг. / Детренд.	АК vs. $T_{\text{ВП}}$ Ориг. / Детренд.
$S_{\text{СП}}, T_{\text{ВП}}$ — наблюдения, индекс АК - NOAA			
1976-2013 (38)	-0.277 / <b>-0.271</b>	<b>-0.342</b> / <b>-0.353</b>	<b>0.711</b> / <b>0.725</b>
1976-1994 (19)	-0.231 / -0.160	-0.384 / -0.356	<b>0.623</b> / <b>0.602</b>
1994-2013 (20)	<b>-0.406</b> / <b>-0.422</b>	<b>-0.401</b> / <b>-0.429</b>	<b>0.823</b> / <b>0.819</b>
1994-2008 (15)	<b>-0.440</b> / -0.433	-0.409 / -0.410	<b>0.700</b> / <b>0.709</b>
$S_{\text{СП}}$ — GSL; $T_{\text{ВП}}$ , индекс АК — NCEP/NCAR			
1979-2002 (24)	-0.013 / -0.098	-0.017 / -0.073	<b>0.597</b> / <b>0.594</b>
1979-1990 (12)	0.330 / 0.190	0.023 / 0.194	0.446 / <b>0.672</b>
1990-2002 (13)	<b>-0.508</b> / -0.393	-0.266 / -0.274	<b>0.765</b> / <b>0.804</b>
1985-1995 (11)	-0.049 / -0.130	-0.048 / -0.376	<b>0.547</b> / <b>0.557</b>
ERA-Interim			
1979-2015 (37)	0.227 / 0.222	0.047 / 0.060	<b>0.654</b> / <b>0.656</b>
1979-1997 (19)	-0.119 / -0.085	-0.179 / -0.231	<b>0.509</b> / <b>0.562</b>
1997-2015 (19)	0.326 / 0.324	0.115 / 0.157	<b>0.810</b> / <b>0.835</b>
1995-2006 (12)	0.339 / <b>0.491</b>	-0.074 / 0.065	<b>0.676</b> / <b>0.667</b>
INMCM4			
1976-2004 (29)	-0.032 / -0.090	-0.217 / -0.158	<b>0.475</b> / <b>0.592</b>
1976-1991 (16)	-0.348 / -0.302	-0.225 / -0.087	0.273 / 0.192
1991-2004 (14)	0.176 / 0.171	-0.194 / -0.190	<b>0.718</b> / <b>0.852</b>
1979-1991 (13)	-0.442 / <b>-0.478</b>	-0.015 / -0.020	0.424 / 0.343
INMCM5			
1979-2007 (29)	-0.191 / -0.196	-0.020 / -0.053	<b>0.643</b> / <b>0.689</b>
1979-1994 (16)	-0.186 / -0.183	0.027 / 0.051	<b>0.629</b> / <b>0.655</b>
1994-2007 (14)	-0.209 / -0.243	-0.029 / -0.139	<b>0.673</b> / <b>0.694</b>
1987-2000 (14)	<b>-0.554</b> / <b>-0.559</b>	-0.213 / -0.215	<b>0.725</b> / <b>0.725</b>

**Примечание.** Жирным в таблице выделены значимые значения для  $\alpha = 0.1$ ; жирным и подчеркнутые — для  $\alpha = 0.05$ .  
Здесь и далее  $S_{\text{СП}}$  - площадь снежного покрова рассматриваемой территории,  $T_{\text{ВП}}$  - температура воздуха у поверхности.

В-четвертых, при анализе ИР и ИТР получен разный набор временных периодов, для которых проявляется значимая линейная связь между площадью снежного покрова, сформировавшегося осенью, и индексом АК в последующий зимний сезон. Только для двух периодов получены значимые коэффициенты корреляций одновременно для ИР и ИТР: для периода длительностью 20 лет из набора данных наблюдений (1994-2013гг.) и для периода длительностью 14 лет из набора данных климатического моделирования INMCM5 (1987-2000 гг.). Совершенно иная картина получена для двух других пар рассматриваемых параметров. Значимая линейная связь между площадью снежного покрова осенью и температурой воздуха у поверхности в последующий зимний сезон на территории Западной Сибири отсутствует для всех наборов данных на всех рассмотренных периодах кроме двух периодов длительностью 38 и 20 лет (1976-2013 гг. и 1994-2013 гг., соответственно), выделенных при анализе данных наблюдений. Корреляция индекса АК и температуры воздуха у поверхности в зимний сезон на территории Западной Сибири, напротив, значима для всех наборов данных для всех периодов за исключением периодов длительностью 16 и 13 лет (1976-1991 гг. и 1979-1991 гг., соответственно) из набора данных климатического моделирования INMCM4, где линейная связь отсутствует как на ИР, так и на ИТР, а также периода длительностью 12 лет (1979-1990 гг.) из набора данных реанализа NCEP/NCAR, где линейная связь проявилась только при анализе ИТР. Результат сравнения полученных на основе ИР и ИТР значений коэффициентов корреляции говорит в пользу невыраженности влияния низкочастотной составляющей изменчивости рассматриваемых параметров.

Для выявления отличительных особенностей периодов с выявленной и отсутствующей значимой линейной связью между тремя парами рассмотренных параметров (площадью снежного покрова в октябре, индексом АК и температурой воздуха у поверхности в последующую зиму на территории Западной Сибири) для всех рассмотренных наборов данных для всех выделенных периодов времени для указанных параметров были вычислены средние значения и стандартные отклонения от них (табл. 2). Совместный анализ вычисленных характеристик и сопоставление для каждого периода их сочетания со значениями индексов корреляций между указанными параметрами, полученными ранее (табл. 1), не выявило какой-либо закономерности сопутствующей проявлению или отсутствию значимой линейной связи. С одной стороны, может показаться, что такое отсутствие закономерности является следствием неудачного выбора временных периодов для исследования, и такое заключение было бы правомерным, если бы исследование не было построено на пяти наборах данных различного типа, полученных разным способом и из различных источников.

Далее был проанализирован межгодовой ход площади снежного покрова, сформировавшегося в октябре на территории Западной Сибири, индекса АК и температуры воздуха у поверхности на этой же территории в последующий зимний сезон (рис. 1 и 2). Согласно предложенному Cohen J. механизму, при аномально большой площади снежного покрова должна проявляться сильная

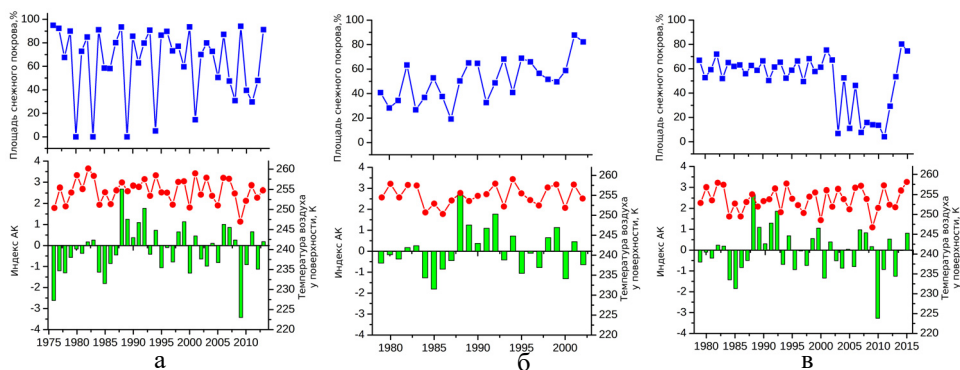
---



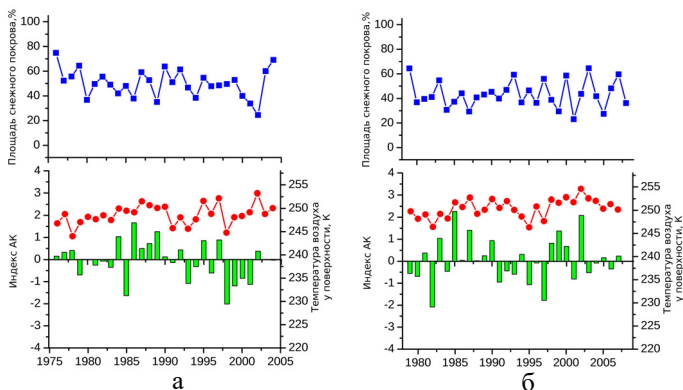
отрицательная фаза АК у поверхности и, как следствие, возможно формирование относительно низкой температуры воздуха у поверхности (Cohen et al., 2007). Однако, при изучении временной динамики указанных параметров было получено, что большой площади снежного покрова в октябре в разные моменты времени в рамках каждого принятого к рассмотрению набора данных в последующую зиму соответствуют индексы АК различной величины и знака. Для температуры воздуха у поверхности искомой закономерности также не получено.

**Таблица 2.** Средние значения и стандартное отклонение ( $\pm\sigma$ ) по ИР для площади снежного покрова, сформировавшегося в октябре на территории Западной Сибири, средней по территории за последующий зимний сезон температуры воздуха у поверхности и индекса АК

Период (кол-во лет)	$S_{сн}$ , %	$T_{вп}$ , К	АК
<i><math>S_{сн}</math>, <math>T_{вп}</math> — наблюдения, индекс АК - NOAA</i>			
1976-2013 (38)	64.27 $\pm$ 29.85	254.66 $\pm$ 2.94	-0.22 $\pm$ 1.18
1976-1994 (19)	63.55 $\pm$ 35.01	255.07 $\pm$ 2.82	-0.14 $\pm$ 1.29
1994-2013 (20)	61.99 $\pm$ 27.42	254.47 $\pm$ 3.13	-0.26 $\pm$ 1.09
1994-2008 (15)	62.50 $\pm$ 27.58	255.11 $\pm$ 2.86	-0.03 $\pm$ 0.83
<i><math>S_{сн}</math> — GSL; <math>T_{вп}</math> индекс АК — NCEP/NCAR</i>			
1979-2002 (24)	51.32 $\pm$ 17.58	254.92 $\pm$ 2.47	0.03 $\pm$ 1.07
1979-1990 (12)	43.33 $\pm$ 15.70	254.45 $\pm$ 2.47	-0.06 $\pm$ 1.18
1990-2002 (13)	59.72 $\pm$ 15.53	255.34 $\pm$ 2.39	0.15 $\pm$ 0.94
1985-1995 (11)	49.91 $\pm$ 16.20	254.62 $\pm$ 2.49	0.30 $\pm$ 1.35
<i>ERA-Interim</i>			
1979-2015 (37)	50.79 $\pm$ 21.81	253.73 $\pm$ 2.88	-0.09 $\pm$ 1.10
1979-1997 (19)	60.03 $\pm$ 6.46	253.62 $\pm$ 2.69	0.01 $\pm$ 1.13
1997-2015 (19)	41.49 $\pm$ 27.01	253.67 $\pm$ 3.16	-0.23 $\pm$ 1.06
1995-2006 (12)	51.73 $\pm$ 21.67	253.43 $\pm$ 2.59	-0.18 $\pm$ 0.80
<i>INMCM4</i>			
1976-2004 (29)	50.17 $\pm$ 11.31	248.67 $\pm$ 2.14	-0.06 $\pm$ 0.86
1976-1991 (16)	51.73 $\pm$ 10.77	248.46 $\pm$ 1.96	0.19 $\pm$ 0.79
1991-2004 (14)	48.45 $\pm$ 11.64	248.71 $\pm$ 2.46	-0.34 $\pm$ 0.84
1979-1991 (13)	49.60 $\pm$ 9.71	248.90 $\pm$ 1.65	0.17 $\pm$ 0.88
<i>INMCM5</i>			
1979-2007 (29)	43.57 $\pm$ 11.07	250.46 $\pm$ 1.98	0.05 $\pm$ 1.02
1979-1994 (16)	43.11 $\pm$ 9.54	249.94 $\pm$ 1.71	0.05 $\pm$ 1.04
1994-2007 (14)	43.61 $\pm$ 12.73	250.92 $\pm$ 2.18	0.06 $\pm$ 0.99
1987-2000 (14)	43.35 $\pm$ 9.57	250.51 $\pm$ 1.99	0.06 $\pm$ 0.95



**Рисунок 1.** Межгодовой ход площади снежного покрова Западной Сибири в октябре (верхний график), средних за последующий зимний сезон индекса АК (нижний график) – левая шкала и осредненной по Западной Сибири температуры воздуха у поверхности (нижний график) – правая шкала, полученные по данным наблюдений (а) и реанализов NCEP/NCAR (б) и ERA-Interim (в)



**Рисунок 2.** То же, что на рисунке 1, но по данным модели INMCM4 (а) и INMCM5 (б)

### Закключение

Проведенное исследование показало наличие значимой отрицательной линейной связи площади снежного покрова, сформировавшегося в октябре на территории Западной Сибири, с циркуляционным режимом, сформировавшимся в последующий зимний сезон, только на коротких временных интервалах. При этом проявление этой связи не сопряжено с существованием на этих же временных интервалах значимой линейной связи между площадью снежного покрова в октябре и температурой воздуха у поверхности в последующий зимний сезон. Более того, последняя линейная связь оказалась незначимой для всех рассмотренных наборов данных, за исключением данных наблюдений. Проведенный анализ временной динамики площади снежного покрова в октябре в Сибири, индекса АК и температуры воздуха у поверхности в последующую зиму не выявил в рядах данных каких-либо регулярных особенностей, сопутствующих проявлению на отдельных вре-

менных интервалах значимой линейной связи. Характер проявления линейной связи при анализе ИР и ИТР позволяет сделать вывод, что низкочастотная составляющая вариации рассматриваемых параметров не является сама по себе причиной наличия или отсутствия связи между ними. Необходимо заметить, что схожий конечный результат получен на основе данных различных типов: полученных разным способом (наблюдения, спутниковые данные, данные реанализа и климатического моделирования) из различных источников.

Обобщение всех полученных в рамках данного исследования результатов дает основания предположить, что рассматриваемый тропосферно-стратосферно-тропосферный механизм, описанный ранее, не является управляющим и может быть сильно подвержен влиянию других атмосферных процессов. Необходимо дальнейшее исследование этого механизма и фоновых атмосферных условий с целью определения того состояния атмосферы, при котором происходит проявление рассматриваемого тропосферно-стратосферно-тропосферного механизма.

Результаты и выводы, представленные в данной статье, согласуются с результатами, полученными ранее на основе более простой климатической модели промежуточной сложности (Мартынова, Крупчатников, 2010), а также полученными другими авторами, касающимися вероятной нестационарности проявления рассматриваемой связи (Попова 2014; Peings et al., 2013; Sae-Rim et al., 2017).

### Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 16-35-00301, 16-05-00558, 17-05-00119 и 16-35-60088. Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н., Профессору Володину Е.М. за предоставленные данные численного моделирования модели INMCM5.

### Список литературы

Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В., Мартынова Ю.В. 2018. Атмосферные блокинги в Западной Сибири. Часть II: Долговременные вариации и их связь с климатической изменчивостью в Азии. – Метеорология и гидрология, № 3, в печати.

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных характеристики снежного покрова на метеорологических станциях России и бывшего СССР. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621201. <http://meteo.ru/data/165-snow-cover#описание-массива-данных>.

Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В. 2010. Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана INMCM 4.0. – Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 46, № 4, с. 448-466.

Володин Е.М. 2014. О возможных причинах низкой чувствительности климатических моделей к увеличению содержания углекислого газа. – Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 50, № 4, с. 399-405.

Дымников В.П., Володин Е.М., Галин В.Я., Глазунов А.В., Грицун А.С., Дианский Н.А., Лыкосов В.Н. 2003. Климат и его изменения: математическая теория и численное моделирование. – Сибирский журнал вычислительной математики, т. 6, с. 347-379.

Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В. 2008. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975-2005 гг. – Журнал Сибирского федерального университета, т. 4, № 1, с. 323-344.

Мартынова Ю.В., Крупчатников В.Н. 2010. Исследование чувствительности температуры поверхности в Евразии в зимний период к аномалиям снежного покрова. Роль стратосферы. – Известия РАН. Физика атмосферы и океана, т. 46, № 6, с. 1-13.

Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. 2014. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией. – Лед и снег, т. 127, № 3, с. 39-49.

Allen M.R., Barros V.R., Broome J., Cramer W., Christ R., Church J.A., Clarke L., Dahe Q., Dasgupta P., Dubash N.K., Edenhofer O. 2014. IPCC fifth assessment synthesis report-climate change 2014 synthesis report.

Allen R.J., Zender C.S. 2010. Effects of continental-scale snow albedo anomalies on the wintertime Arctic oscillation. – J. Geophys. Res., vol. 115, No. D23. D23105.

Cohen J., Barlow M., Kushner P.J., Saito K. 2007. Stratosphere-troposphere coupling and links with Eurasian land-surface variability. – J. Climate, vol. 20, pp. 5335-5343.

Cressie N.A.C. 1990. The Origins of Kriging. – Mathematical Geology, vol. 22, pp. 239-252.

Foster J., Owe M., Rango A. 1983. Snow cover and temperature relationships in North America and Eurasia. – Journal of Climate and Applied Meteorology, vol. 22, pp. 460-469.

Furtado J.C. et al. 2015. Eurasian snow cover variability and links to winter climate in the CMIP5 models. – Climate Dyn., vol. 45, pp. 2591-2605.

García-Herrera, R., Barriopedro D. 2006. Northern Hemisphere snow cover and atmospheric blocking variability. – J. Geophys. Res., vol. 111, No. D21. D21104.

Gong G., Entekhabi D., Cohen J. 2003. Modeled Northern Hemisphere winter climate response to realistic Siberian snow anomalies. – J. Climate, vol. 16, pp. 3917-3931.

---

Peings Y., Brun E., Mauvais V., Douville H. 2013. How stationary is the relationship between Siberian snow and Arctic Oscillation over the 20th century? – *Geophysical Research Letters*, vol. 40, pp. 183-188.

Robinson, David A., Estilow, Thomas W. 2012. NOAA CDR Program (2012): NOAA Climate Data Record (CDR) of Northern Hemisphere (NH) Snow Cover Extent (SCE), Version 1. v01r01. NOAA National Centers for Environmental Information. doi: 10.7289/V5N014G9 10.09.2017.

Sae-Rim Yeo, Won Moo Kim, Kwang-Yul Kim. 2017. Eurasian snow cover variability in relation to warming trend and Arctic Oscillation. – *Climate Dynamics*, vol. 48, pp. 499-511.

Статья поступила в редакцию: 01.11.2017 г.

После переработки: 19.02.2018 г.